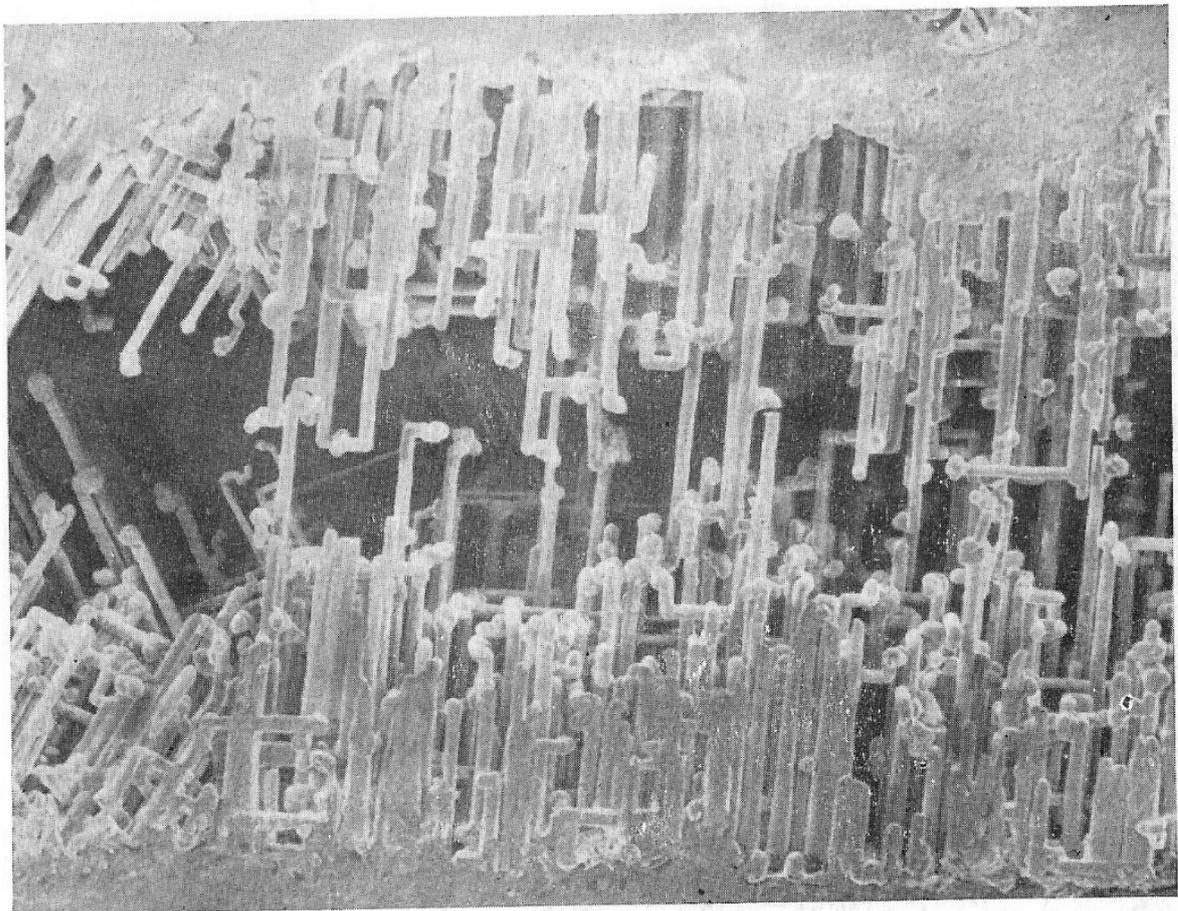


VEB Kombinat Elektronische Bauelemente Teltow
Arbeitsausschuß Kondensatoren der Kammer der Technik

BERICHTSBAND
ZUR
1. FACHTAGUNG

„Bauelementefunktion elektrischer Kondensatoren“



25. und 26. März 1980 · Karl-Marx-Stadt

Herausgegeben von
Doz.Dr.sc.nat. H.-D. Langer
Technische Hochschule K.-M.-St.
Sektion Physik/Elektronische
Bauelemente

BAUELEMENTEEIGENSCHAFTEN UND PRÜFZUVERLÄSSIGKEIT VON TANTAL-KONDENSATOREN - DISKUSSION VON SUBSTITUTIONSMÖGLICHKEITEN

DI J. Barthel
VEB Kondensatorenwerk Freiberg

Dr.sc.nat. H.-D. Langer
Technische Hochschule
Karl-Marx-Stadt

1. Trendentwicklung bei Niedervolt-Elektrolytkondensatoren (NV-Elkos)

Die Volkswirtschaft der DDR steht in den achtziger Jahren vor komplizierten Aufgaben, zu deren Lösung die immer weitere Einführung und Nutzung der Mikroelektronik eine Grundvoraussetzung darstellt.

Mit der anfänglichen Entwicklung der Mikroelektronik war das Bestreben verbunden, passive Bauelemente einschließlich der Elkos durch Lösungen mittels der Halbleiter-Blocktechnik zu realisieren. Während dies für Widerstände, Induktivitäten und Kapazitäten in bestimmten Dimensionen realisiert wurde, erreichte man für das typische Einsatzgebiet der NV-Elkos keine befriedigenden Ergebnisse, und es ist gegenwärtig sowohl in der DDR wie im Weltmaßstab ein Trend zur Erhöhung der Produktionsstückzahlen zu verzeichnen. Tabelle 1 zeigt für das Jahr 1978 die Umsatzkennziffern von Al- und Ta-Elkos für die wichtigsten nichtsozialistischen Wirtschaftsgebiete. Für Westeuropa sagt man ein weiteres Wachstum von 9,7 % bei Al- und 8,1 % bei Ta-Elkos bis zum Jahr 1983 voraus /1/.

Tabelle 1: Marktsituation bei Al- und Ta-Elektrolytkondensatoren in den USA, Westeuropa und Japan im Jahr 1978 /1/

Umsatz	Marktbereich		
	USA	Westeuropa	Japan
Gesamtumsatz in Mio \$	830	1008	766
Umsatzanteil in %			
Al-Elko	18,3	25,7	40,8
Ta-Elko	20,7	11,9	9,2

Dies wird darauf zurückgeführt, daß sich die Elektronik im Laufe der letzten Jahre immer neue Einsatzgebiete erobert hat. Das betrifft vor allem solche nichttraditionellen Bereiche wie die feinmechanische und optische Industrie sowie den Werkzeugmaschinenbau.

Außerdem sind völlig neue Industriezweige, stimuliert durch die Mikroelektronik, entstanden oder spezielle wesentlich erweitert worden, z. B. EDV, Kraftfahrzeugelektronik, Luft- und Raumfahrt, Militärtechnik.

Im Zuge dieser Entwicklung fand auf dem Gebiet der NV-Elkos eine starke Entwicklung statt, die im wesentlichen in die Richtungen allgemeiner Bedarfsanstieg und ständige Verbesserung der Kennwerte von Elkos gehen. Die Trends der Kennwerte sind aus der folgenden Übersicht zu entnehmen:

Kennwerte	Entwicklungstendenz (↑ steigend, ↓ fallend)	
. spezifische Kapazität (Kapazität pro Volumeneinheit, Flächeneinheit oder Menge an Einsatzmaterial)	C	↑
. Verlustwinkel	tan	↓
. Reststrom	I_R	↓
. Nennspannung	U_N	↑
. Temperaturbereich	T	↑
. Scheinwiderstand (f - Frequenz)	$Z \frac{1}{2\pi fC}$ für kleine f	
. Ersatzserienwiderstand	ESR	↓
. Grenzfrequenz	f_{Grenz}	↑
. Zuverlässigkeit (als Betriebs- bzw. Prüfausfallrate)	B,P	↓
. überlagerte Wechselspannungen und -ströme	U_{Σ}, I_{Σ}	↑
. Umkehrspannung	U_U	↑
. Abmessungen		↓

Diese Entwicklung führt zwangsläufig dazu, daß Sortimente entstehen, die einen oder mehrere spezielle Vorzüge besitzen und für spezielle Einsatzgebiete geeignet sind:

- . Elkos mit niedrigem ESR und hoher I_{\approx} -Belastbarkeit,
- . Schaltnetzteil-elkos, Elkos für niedrige I_R , für U_{\approx} ,
- . Elkos mit Fest- und Flüssigelektrolyt,
- . Elkos mit ein- und zweiseitigen Anschlußdrähten,
- . prismatische Ausführungen für hohe Packungsdichte auf Leiterplatten bzw. für automatische Bestückung,
- . hermetisch dichte Ausführungen,
- . Elkos für tiefe und hohe Temperaturen bzw. Nennspannungen,
- . Tonfrequenzelkos (reine U_{\approx} -Elkos, ohne Gleichspannung anwendbar),
- . Tantalelkos mit flüssigem oder Gelelektrolyten (für T bis 175°C und $U_N = 60$ bis 500 V),
- . Tantal-Chip-Kondensatoren für den Einsatz in der Hybridmikroelektronik,
- . Tantal-Chip-Kondensatoren für allgemeine Anwendung,
- . Tantal-Arrays im DIL-Gehäuse (einschließlich diskreter Dünnschichtkondensatoren).

Aufgrund dessen, daß Ta-Kondensatoren im unteren bis mittleren Kapazitätsbereich ($0,01\text{ }\mu\text{F}$ bis $100\text{ }\mu\text{F}$) in ihren Kennwerten, Parameterabhängigkeiten sowie in der Sortimentsbreite den Al-Elektrolytkondensatoren überlegen sind, waren große Steigerungsraten für Tantalkondensatoren bei der Anwenderindustrie zu verzeichnen (national und international). Demgegenüber stand, vor allem in den letzten Jahren, eine immer stärkere Verknappung und damit Verteuerung des Ausgangsstoffes für Tantalkondensatoren - dem Tantalpulver (Steigerung von ca. 280 M im Jahr 1978 auf 1000 M pro kp Ta-Rohstoff im Jahr 1980) - das aus dem NSW importiert werden muß.

Durch Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Al-Niedervoltelkos am System Elektrolyt - Aluminiumfolie - Papier (Abstandhalter zwischen Anoden- und Katodenfolie) sowie in der Herstellungs-

technologie (Erhöhung der Präzision) entstanden in den letzten 2 Jahren neue Sortimente von Al-NV-Elkos mit verbesserten Eigenschaften. Somit ergibt sich die Möglichkeit, in speziellen Anwendungsfällen, in denen bisher Ta-NV-Elkos dominierten, Al-NV-Elkos zu verwenden. Dieser Trend ist im Weltmaßstab zu verzeichnen und wurde hauptsächlich durch japanische Hersteller eingeleitet.

Ziel des Beitrages soll es sein, das gegenwärtige und zukünftige Bauelementesortiment des VEB Kondensatorenwerk Freiberg vorzustellen, einige Kennwerte bzw. Parameter zu erläutern und, darauf aufbauend, Auswahlkriterien zusammenzufassen, in welchem Falle Tantalkondensatoren oder Aluminiumelkos einzusetzen sind.

2. Ta-NV-Elkos

Ta-NV-Elkos sind nur erhältlich, wenn der Einsatz volkswirtschaftlich zwingend erforderlich ist und das gegenüber dem bilanzbeauftragten Organ nachgewiesen werden kann.

In der DDR werden folgende Bauformen Tantalkondensatoren vertrieben:

- zylindrische Tantalkondensatoren nach TGL 200-8279 in 4 Baugrößen der folgenden Abmessungen (D - Durchmesser, L - Länge in mm):

Baugröße	I	II	III	IV
D x L	3,2 x 6,4	4,5 x 11,2	7,1 x 16,5	8,7 x 20

(Nennkapazität/Nennspannung: 0,68 μ F/35 V bis 100 μ F/25 V verteilt auf alle Größen, insgesamt ca. 40 Einzeltypen)

- prismatische Tantalkondensatoren nach TGL 26628 (2,2 μ F/35 V bis 100 μ F/15 V, die jedoch im wesentlichen austauschbar sind durch Ta-Tropfenkondensatoren)

- Ta-Tropfenkondensatoren
(0,1 μ F/50 V bis 330 μ F/6,3 V, als universell einsetzbares Bauelement, geeignet für die meisten Anwendungsfälle in der professionellen Elektronik)
- Tantal-Chip-Kondensatoren für den Einsatz in der Hybrid-Mikroelektronik

2.1. Bauelementeeigenschaften der Ta-NV-Elkos

Die hauptsächlichlichen Eigenschaften und Kennwerte der genannten Ta-Sortimente sind prinzipiell gleich, da das Grundelement die skizzierte Konstruktion aufweist.

Tabelle 2: Charakterisierung des Grundaufbaues von Ta-Fest-elektrolytkondensatoren (s. Bild 1)

Nr. (gem. Bild 1)	Bezeich- nung	Funk- tion	Material	Herstellung	Ziel
1.	Tantal- Sinter- körper	Anode	Ta99,99 %	zylindr. oder prismatische Körper aus Ta-Pulver, ge- preßt und ge- sintert	große Ober- fläche für hohe Kapazi- tät
2.	Tantal- pent- oxid	Dielek- tri- kum	Ta ₂ O ₅	anodische Oxi- dation des Sin- terkörpers, Dicke der Oxid- schicht d ist proportional d . Formierspan- nung, die bei der anodischen Oxidation er- reicht wird	vollständige Oxidation der Ober- fläche des Sinterkör- pers
3.	Mangan- dioxid	Katode (Fest- elek- trolyt- Halb- leiter)	MnO ₂	Tränken des anodisch oxi- dierten Sin- terkörpers in Mangannitrat, thermische Zer- setzung in MnO ₂	vollständige Bedeckung d . porösen Oxid- elektrode

Nr.	Bezeichnung	Funktion	Material	Herstellung	Ziele
4.	Graphit	inniger ohmscher Kontakt MnO ₂ / Leit- silber- belag	Kohlenstoff (kolloidale Teilchen- größen)	Tauchen des MnO ₂ -beschichteten Sinterkörpers in Graphit-suspension	Verringerung des Übergangswiderstandes des Kontaktier-systems
5.	Leit- silber (Leit- kleber)	lötbarer Belag des Kondensatorele- mentes	Ag (Fläch- teilchen im Abmes- sungsbe- reich um 1,um)	Tauchen des gra- phitierten Sin- terkörpers in Leitsilbersus- pension	Kontakt- schicht mit guten Löteigen- schaften

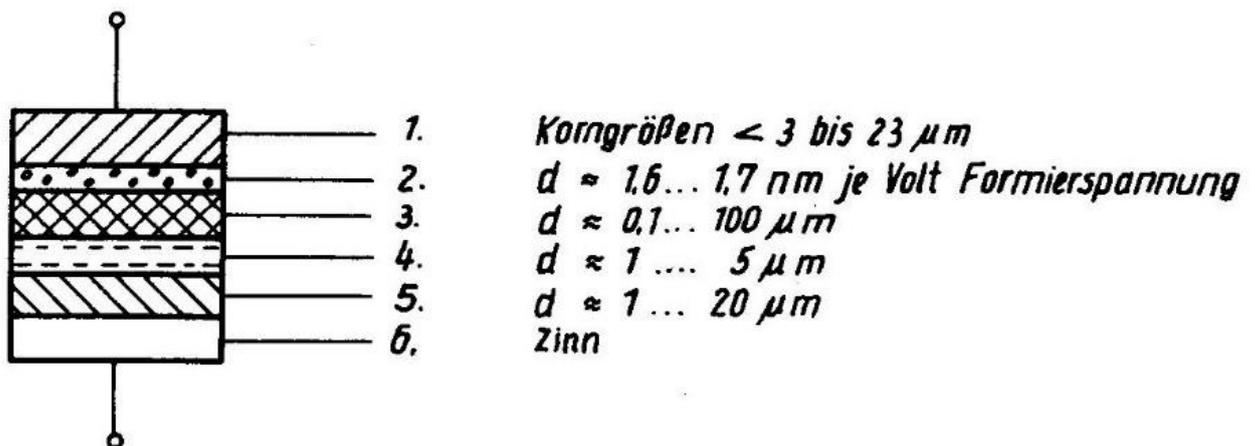


Bild 1: Schematische Schichtfolge eines Tantal-Festelektrolytkondensators

Durch diese Struktur wird im gesamten Sinterkörper die genannte Schichtfolge realisiert (s. auch /2/).

Im folgenden sollen die wichtigsten Parameter kurz zusammengefaßt wiedergegeben werden, um dem Anwender zur Schaltungsdimensionierung notwendige Informationen zu übermitteln. Dabei soll nur auf Trends, weniger auf physikalische Zusammenhänge eingegangen werden.

- Nennkapazität C_N :

C_N wird durch Brückenverfahren als Serienersatzkapazität bei gegebener effektiver Meßspannung U_{eff} und Meßfrequenz f bestimmt.

($U_{\text{eff}} \leq 0,25 \text{ V}$, $f = 50, 100, 120 \text{ Hz}$, modifizierte Scheringbrücke)

Die zeitabhängige Kapazität C_t nimmt während der Langzeitbelastung (t) bei anliegender Nennspannung und oberer Anwendungstemperatur $T = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ geringfügig ab

$$\left(\frac{C_t - C_N}{C_N} \leq -5\% \right),$$

wie am Bild 2 zu erkennen ist.

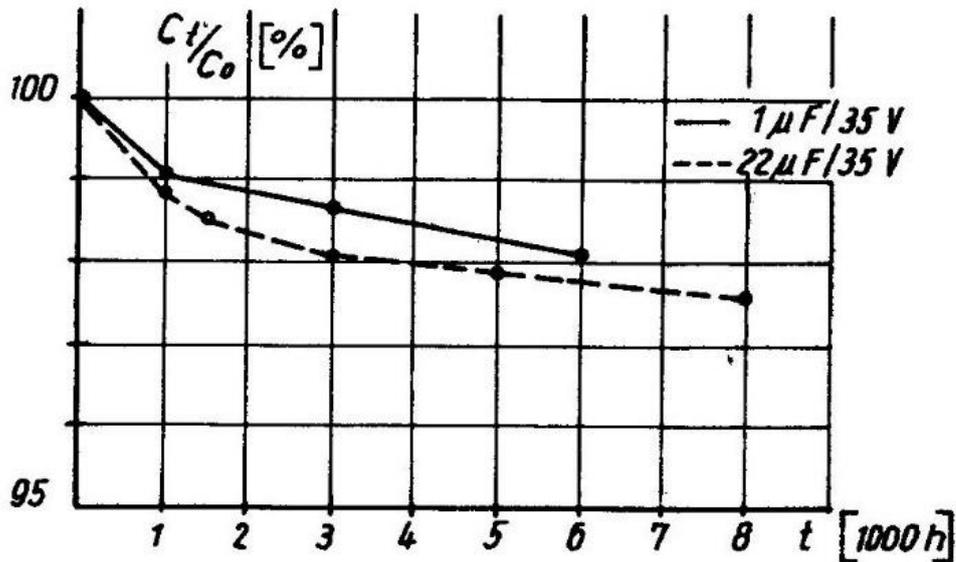


Bild 2: Kapazitätsabnahme eines Tantal-Festelkos während Langzeitbelastung

Die Kapazität C_f nimmt mit steigender Frequenz ab
(wachsende Verluste bei höheren Frequenzen)

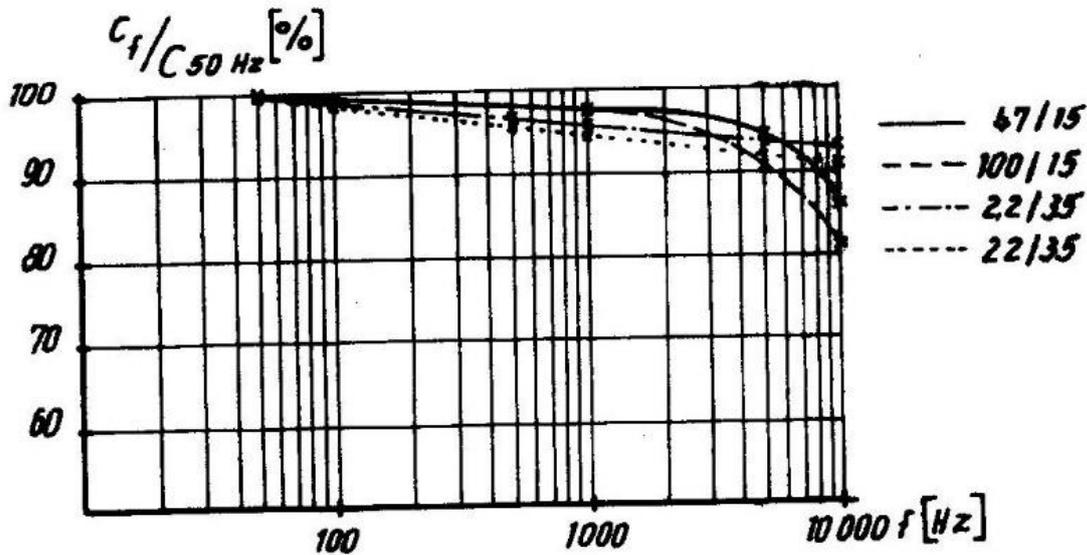


Bild 3: Frequenzabhängigkeit der Kapazität

Es ist eine stärkere f -Abhängigkeit bei höheren Nennspannungen zu verzeichnen (dielektrische Verluste).

Charakteristisch ist die Grenzfrequenz f_{grenz} , die mit steigender Volumenkapazität sinkt. Man definiert f_{grenz} zweckmäßig als die Frequenz bei der $C_f/C_{50 \text{ Hz}} = 0,85$ beträgt /3/, /4/ (vergl. z. B. die Typen $47 \mu\text{F}/15 \text{ V}$, Baugröße III und $100 \mu\text{F}/15 \text{ V}$, Baugröße IV).

Die Kapazität C_T ist von der Temperatur abhängig (über das vollständige Sortiment), jedoch nicht mehr als $\pm 10 \%$ über den gesamten Anwendungstemperaturbereich von -55°C bis $+85^\circ\text{C}$.

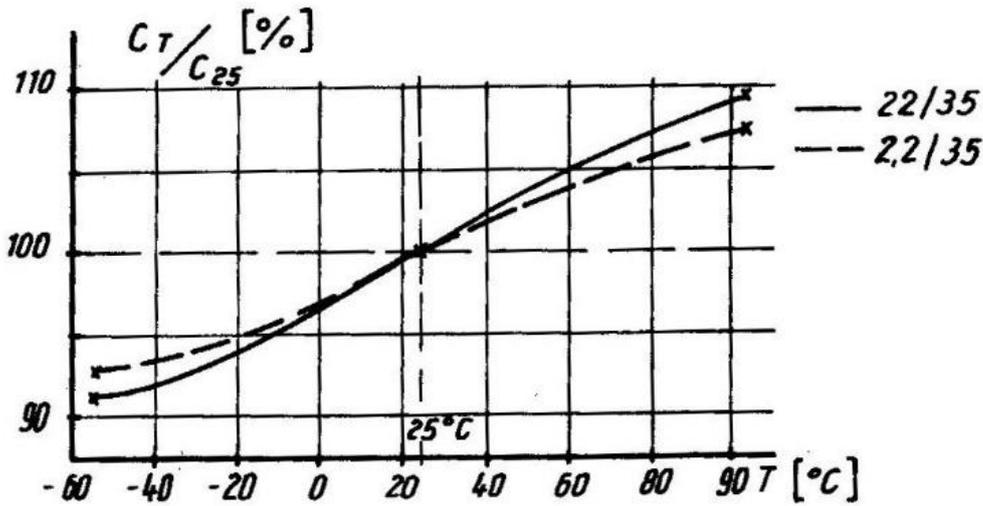


Bild 4: Temperaturabhängigkeit der Kapazität

- Verlustfaktor $\tan \delta$:

$\tan \delta$ wird als Serienverlustfaktor bei gleichzeitigem Abgleich der Serienkapazität gemessen. Es gelten die für C_N genannten Meßbedingungen.

Die Absolutwerte von $\tan \delta$ liegen zwischen 0,5 % und 5 % ($f = 120$ Hz, typen- und sortimentsabhängig).

Der Verlustwinkel δ vergrößert sich mit steigender Frequenz (wachsende dielektrische Verluste, siehe Bild 5). Eine stärkere Abhängigkeit ist bei größeren spezifischen Ladungsmengen (Produkt $C_N \cdot U_N$ pro Bauelementevolumen in μFVcm^{-3}) festzustellen.

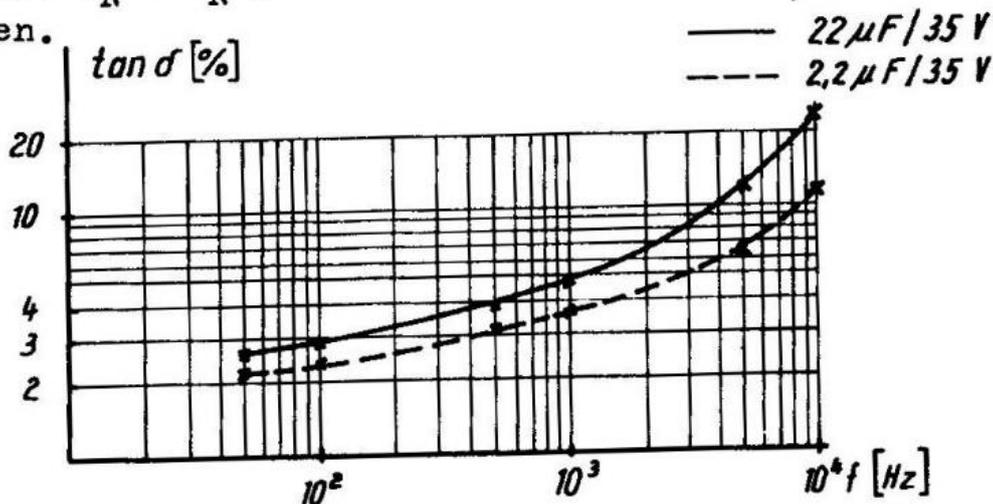


Bild 5: Frequenzabhängigkeit des $\tan \delta$

Der $\tan \delta$ ist temperaturabhängig (s. Bild 6). Das Verhalten wird ebenfalls weitgehend von der spezifischen Ladungsmenge beeinflusst.

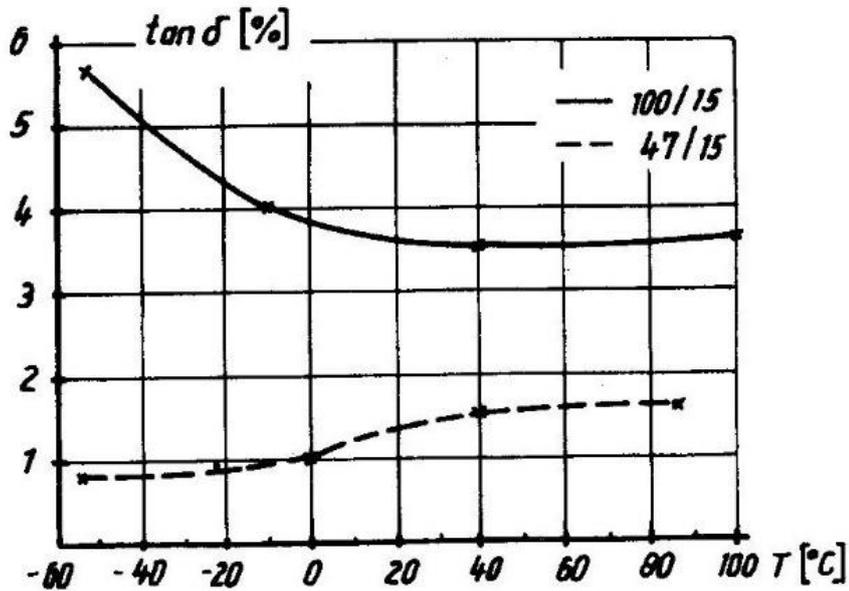


Bild 6: Temperaturabhängigkeit des $\tan \delta$

Scheinwiderstand Z :

Der Scheinwiderstand des Kondensators gibt Aufschluß über das Wirken seiner durch C, ESR und L verursachten Anteile in den einzelnen Frequenzbereichen.

Der prinzipielle Verlauf ist in Bild 7 wiedergegeben ($\omega = 2\pi f$).

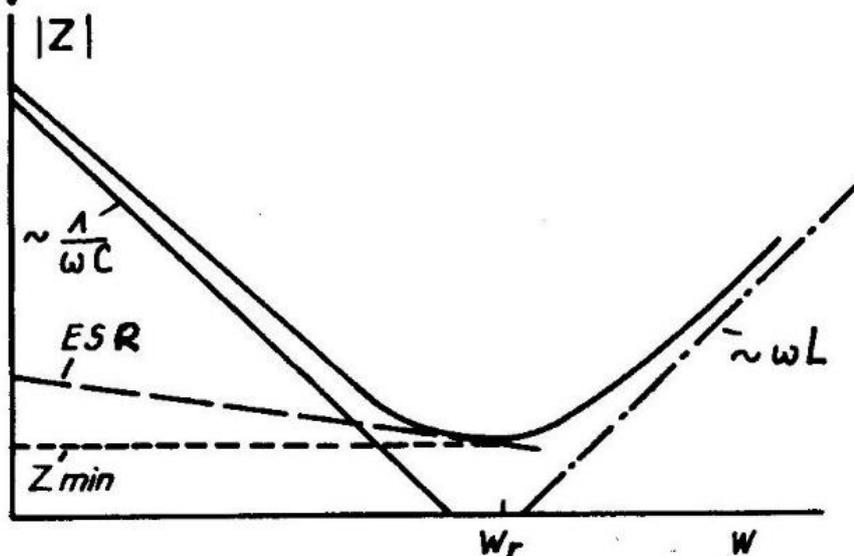


Bild 7: Prinzipieller Verlauf des Scheinwiderstandes über der Frequenz

- $\sim \frac{1}{\omega C}$: Einfluß der Serienkapazität
 - - - $\sim \omega L$: Einfluß der Induktivität
 - - - $\sim \text{ESR}(\omega)$: Einfluß des Ersatzserienwiderstandes
- ω_r : Resonanzfrequenz (Beträge des kapazitiven und induktiven Blindwiderstandes sind gleich)

In Bild 8 sind die Scheinwiderstands-Frequenz-Verläufe dreier Typen von Tantalkondensatoren dargestellt:

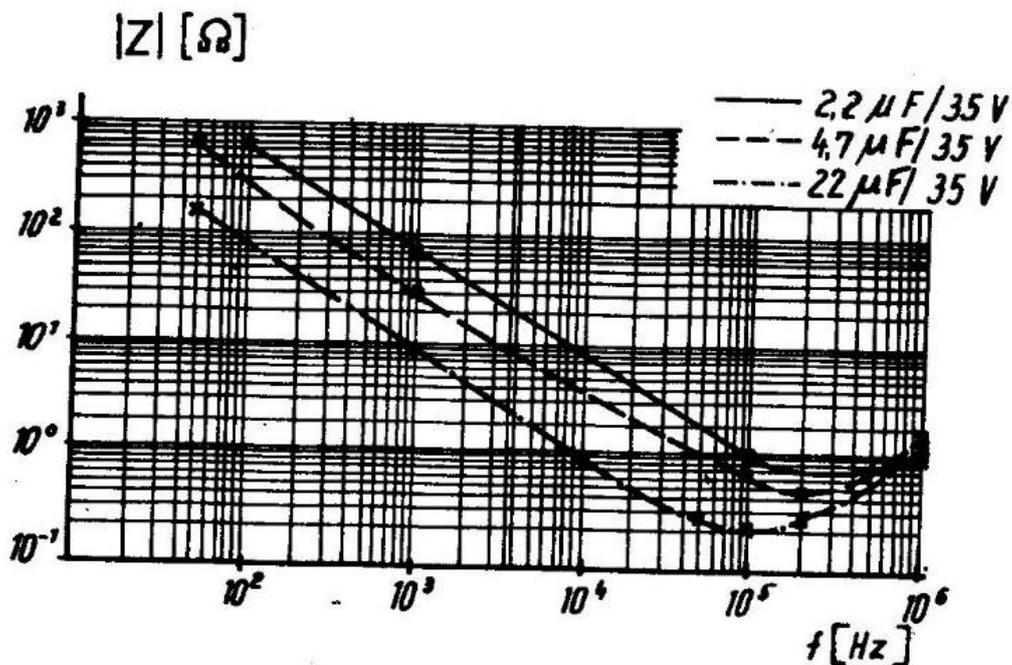


Bild 8: Scheinwiderstands-Frequenz-Abhängigkeit verschiedener Tantalkondensatortypen

Bis $f = 5$ kHz ist die Proportionalität zwischen Z und $\frac{1}{\omega C}$ zutreffend (typenabhängig!).

- Reststrom I_R :

I_R ist temperatur- und spannungsabhängig. Für alle Typen sind annähernd vergleichbare I_R -T- bzw. I_R -U-Verläufe zutreffend, wie aus den Bildern 9 und 10 hervorgeht.

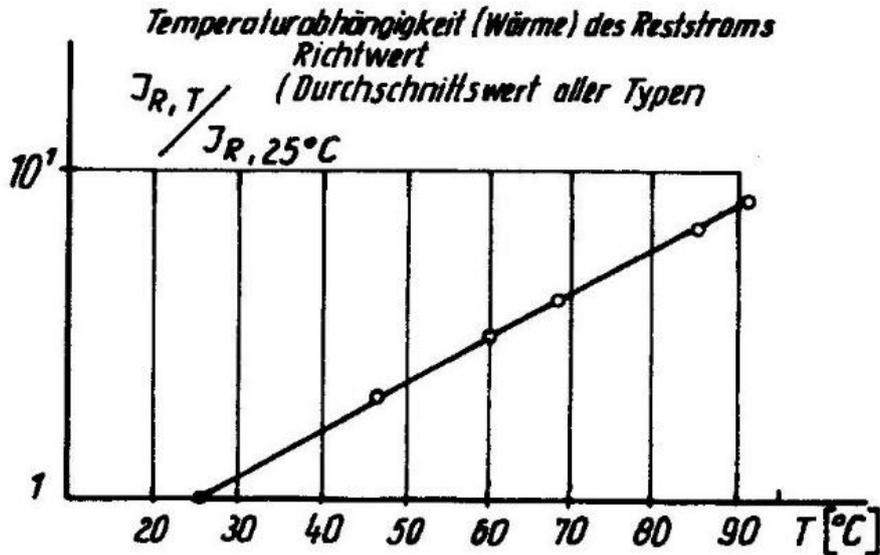


Bild 9: Temperaturabhängigkeit des I_R

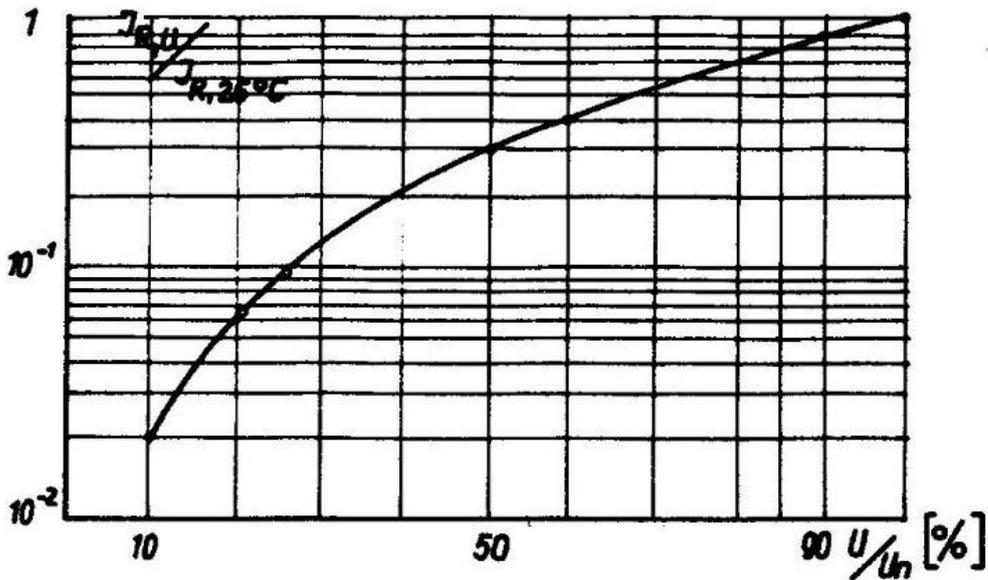


Bild 10: Spannungsabhängigkeit des I_R

Als Absolutwerte des I_R sind nach TGL 200-8279 $0,02 \cdot C_N \cdot U_N$ ¹⁾ (in μA , wenn C_N in μF und U_N in V eingesetzt werden) zulässig. Das Maximum der Häufigkeitsverteilung liegt jedoch ca. eine Größenordnung niedriger (typenabhängig).

Die Temperatur- und Spannungsabhängigkeit wird durch die Schichtfolge Metall (Ta) - Oxid (Ta_2O_5) - Halbleiter (MnO_2) verursacht.

- Schaltkreiswiderstand R_{ges} :

Für Tantal-Festelkos besitzt der Ohmsche Gesamtwiderstand des Schaltkreises R_{ges} , in dem sich das Bauelement befindet, eine große Bedeutung. Er begrenzt alle Auf- und Entladevorgänge am Kondensator. Werden die kritischen Werte des R_{ges} unterschritten, können unheilbare Defekte im Dielektrikum entstehen, die sofort (Durchschlag) oder allmählich (Verringerung der Betriebszuverlässigkeit) zum Ausfall führen. Dieses Verhalten ist durch die begrenzte Fähigkeit der festen MnO_2 -Katode, Sauerstoff zur Ausheilung bereitzustellen, begründet. Die in der TGL 200-8279 angegebenen Werte für λ_p und λ_B gelten für $R_{ges} \geq 3$ je Volt anliegender Spannung.

1.2. Bauelementezuverlässigkeit

Zu diesem Kapitel sind in der Fachliteratur sowie in Standardwerken eindeutige Definitionen und Vorschriften fixiert. Jedoch ist zur praktischen Ermittlung von Zuverlässigkeitsangaben eine Vielzahl von Randbedingungen festzulegen, um z. B. eine Betriebszuverlässigkeit von $\lambda_B = 1 \cdot 10^{-7} h^{-1}$ zu ermitteln. Betrachtet man die Zuverlässigkeitsangaben verschiedener Kondensatorproduzenten der Welt, muß man feststellen, daß unterschiedliche Begriffe auftreten, die die Zuverlässigkeit oder das Ausfallverhalten umschreiben, wie z. B. Bezugzuverlässigkeit, mittlere Ausfallrate, MTFB²⁾, Betriebszuverlässigkeit, Lebensdauer usw. Jedoch existieren nur unzureichende Angaben, wie sie ermittelt und garantiert werden. Nach /5/ ist zu schließen, daß Datenrückmeldeverfahren zwischen Bauelementehersteller und Anwender ge-

¹⁾ für $C_N \cdot U_N < 100$ $I_R \leq 2,5 \mu A$

²⁾ Mean Time Between Failures, mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen

nutzt werden, um die damit "echten" Zuverlässigkeitsangaben zu bestimmen, die dann in den Katalogen angegeben werden. So z. B. macht die Fa. Sprague Angaben zu Kondensatoren /5/, die gemäß der Sprague-Spezifikation DV-100 B hergestellt wurden, wonach eine Zuverlässigkeit von 0,00001 % pro tausend Stunden mit einer Gesamtanzahl von 11,5 Billionen Bauelementestunden im Minuteman-Programm festgestellt wurde.

Die Überwachung der laufenden Produktion geschieht durch Streßmethoden, die in betriebsinternen Vorschriften festgelegt und selbst in Katalogen nur unvollständig angegeben sind. Aus diesen Streßmethoden kann jedoch weder durch mathematisch-statistische noch durch physikalische Zusammenhänge auf die angegebene Zuverlässigkeit geschlossen werden. Die Zuverlässigkeit kann also nicht garantiert werden. Der Garant ist die gleichbleibende Qualität aller Einsatzmaterialien und der Fertigungstechnologie /6/.

Aus diesem Grunde können Zuverlässigkeitsangaben in Katalogen nicht zum Vergleich verschiedener Bauelemente untereinander herangezogen werden. Es sind nur Angaben vergleichbar, die unter exakt gleichen Bedingungen für die Bauelemente ermittelt wurden.

In der DDR bestehen für die Ermittlung von Zuverlässigkeitsangaben eindeutige Vorschriften, nach denen die Bauelementehersteller verfahren und die garantiert werden (TGL 32377/03, Ausgabe März 1977).

In Anwendung dieser Vorschriften ist für Tantalkondensatoren eine Prüfzuverlässigkeit von $\lambda_p \leq 1 \cdot 10^{-5}$ zu garantieren. Die Ermittlung erfolgt nach TGL 200-8279 bei grundlegenden Veränderungen von Materialien und Verfahren, weiterhin in regelmäßigen Zeitabständen zur betriebsinternen Überwachung und Kontrolle der Bauelementequalität.

Setzt man die Wahrscheinlichkeit zu 60 % an, so berechnet sich $\lambda_{p0,6}$ wie folgt:

$$\lambda_{p0,6} = \frac{k_{0,6} \cdot z}{n \cdot t} \quad (1)$$

Es bedeuten:

n - Anzahl der Prüflinge am Ende der Prüfung

t - Prüfzeit

Die Anzahl Z der Ausfälle und der Faktor für 60 % Wahrscheinlichkeit $k_{0,6}$ hängen wie folgt zusammen:

Z	0	1	2	3	4	5
$k_{0,6}$	0,92	2,02	3,1	4,2	5,3	6,3

(1) soll an einem Beispiel erläutert werden. Um für ein Prüflös von Tantalelkos eine Prüfausfallrate von $\lambda_{p0,6} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ nachzuweisen, dürfen z. B. von 210 Bauelementen nach 2000 Stunden Prüfzeit bei Grenzbelastung, d. h., obere Anwendungstemperatur $T_0 = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ und Dauergrenzspannung $U_D (\hat{=} U_N \text{ für } T = 85 \text{ }^\circ\text{C})$, höchstens 3 Ausfälle vorkommen.

Ausfallkriterien sind dabei:

- Überschreitung einer Kapazitätsänderung von $\pm 15 \%$ zwischen Anfangs- und Endmessung
- Anstieg des $\tan \delta$ während der Prüfzeit um mehr als das 1,3fache des Garantiewertes
- Anstieg des zulässigen Reststromes auf mehr als $5 \cdot I_{Rzul} + 15 \mu\text{A}$

Unter Anwendung einer 7-Grad-Regel (Verdopplung der Ausfallrate je 7 Grad Temperaturerhöhung) kann man näherungsweise von der in (1) definierten Prüfausfallrate (für $T = 85 \text{ }^\circ\text{C}$) auf die Ausfallraten bei niedrigerer bzw. höherer Betriebstemperatur schließen. Ta-Elkos besitzen nach TGL 200-8279 eine Betriebsausfallrate von $\lambda_p \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1}$, die den Anwender mehr als λ_p interessiert. Es ist jedoch zu beachten, daß λ_p außerdem von weiteren Betriebskenngrößen abhängt, z. B. Betriebsspannung und Schaltkreiswiderstand R_{ges} (siehe auch /2/).

Die Praxis hat gezeigt, daß als Ausfallkriterium bei Untersuchungen der Prüfausfallrate nahezu ausschließlich der Reststrom auftritt (stetiger Anstieg bis zum Kurzschluß).

2. Neue Sortimente von Aluminium-Niedervoltelkos (Subminiaturelkos)

Subminiaturelkos sind Al-Elkos mit einseitigen (radialen) Anschlußdrähten und flüssigem Elektrolyten. Sie besitzen den Grundaufbau der Al-NV-Elkos (Wickel aus Anoden- und Katodenfolie, dazwischen Papier-Abstandhalter mit hochleitfähigem Elektrolyten getränkt). Zur stabilen Fertigung des Sortimentes Subminiaturelkos sind hochpräzise mikroprozessorgesteuerte Fertigungseinrichtungen erforderlich, durch die es erst möglich wurde, Al-NV-Elkos mit folgenden Eigenschaften herzustellen:

- sehr niedriger C-Bereich: 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47; 1,0; 2,2; 3,3; 4,7; 10; 22; 33 und 47 μF , früher nur durch Ta-NV-Elkos realisierbar)
- die geringe C-Toleranz von $\pm 20\%$
- die extrem kleinen Abmessungen (Durchmesser x Höhe) von (4 x 7) bzw. (5 x 11) in mm
- verringerte I_R -Werte ($\leq 3 \mu\text{A}$)
- Anwendungstemperaturbereich: -40°C bis $+85^\circ\text{C}$
- Prüfausfallrate: $\lambda_p \leq 1 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$

3. Auswahlkriterien für den Einsatz von Al- oder Ta-NV-Elkos

Steht der Anwender vor der Frage, ob ein Ta- oder Al-NV-Elko eingesetzt werden soll, ist zuerst die Frage nach dem Ausfallkriterium einer Baugruppe oder eines Gerätes zu stellen. Dies soll an einer Gegenüberstellung des Trends einiger Hauptkennwerte bei Langzeitbeanspruchung in Tabelle 3 erläutert werden. Die Unterschiede zwischen Al- und Ta-NV-Elkos sind auf den unterschiedlichen Grundaufbau (Al - Al_2O_3 - Papier, mit flüssigem Elektrolyten getränkt, als Abstandhalter zwischen Anoden- und Katodenfolie bzw. Tantalsinterkörper mit Ta_2O_5 überzogen, MnO_2 -Halbleiterkatode) zurückzuführen.

Tabelle 3: Charakterisierung von Al- und Ta-NV-Elkos unter dem Aspekt der Langzeitbeanspruchung

Kriterium	Al-NV-Elkos	Ta-NV-Elkos
I_R -Anstieg	im gesamten Anwendungstemperaturbereich kein Kriterium für Ausfall	- tritt besonders bei oberer Anwendungstemperatur als Kriterium für die Begrenzung von λ_p auf - bei Betriebstemperatur nicht zutreffend
Kurzschluß	tritt nur bei mechanischen Überbelastungen auf (Stoß, Schwingung)	- bei oberer Anwendungstemperatur als Folge des I_R -Anstieges möglich - bei Unterschreitungen des R_{ges} besonders bei unterer und oberer Grenztemperatur - tritt bei Überbelastung durch U_U und U_g auf
Kapazitätsrückgang	- Ausfallkriterium bei Langzeitbelastung und oberer Anwendungstemperatur (ab $t \geq 2000$ h)	- für gesamten Anwendungsbereich nicht zutreffend (geringer C-Abfall bis max. - 10 %)

Kriterium	Al-NV-Elkos	Ta-NV-Elkos
	- läuft bei Betriebstemperatur wesentlich verlangsamt ab	
tan δ -Anstieg	tritt gleichzeitig mit C-Abfall auf	Verlustwinkel sinkt bei Langzeitbelastung und oberer Grenztemperatur auf etwa 30 bis 50 % des Anfangswertes ab
Anstieg des Scheinwiderstandes	Folge (bei Langzeit- und oberer Grenztemperaturbelastung) des C-Abfalls und tan δ -Anstiegs	- kein Ausfallkriterium - bei Langzeitbelastung weitere Annäherung an $\frac{1}{\omega C}$

Ergänzend sollen in Tabelle 4 einige Parameter und Eigenschaften qualitativ bzw. quantitativ vergleichsweise bewertet werden.

Tabelle 4: Bewertung von Bauelementekenngrößen von Al- und Ta-NV-Elkos

Kenngröße	Al-NV-Elkos	Ta-NV-Elkos
Bauelementekennwerte (25 °C):	- + 50 %; -20 % für allgemeine Anforderungen	\pm 20 %; für Tropfenkondensatoren auf Anfrage \pm 10 %, \pm 5 %
Kapazitätstoleranz	- \pm 20 % für Elko-Subminiatur bzw. Elko radial und axial ab 1984 (TGL 38909)	
tan δ , 120 Hz	5 % bis 20 %	1 % bis 5 %

Kenngröße	Al-NV-Elkos	Ta-NV-Elkos
I_R (nach 5 min bei angelegter Nennspannung) für $C_N U_N \geq 100$ oder < 100 ; I_R in μA ; C_N in μF ; U_N in V	$\approx 0,01 C_N U_N$ oder 3 (Subminiatur) Richtwerte!	$\approx 0,008 C_N U_N$ oder 0,1 Richtwerte!
I_{\approx}	für Einsatz inner- halb der vorgegebenen Grenzen gut geeignet; Spezialausführung Schaltnetzteilko besonders für hohe I_{\approx} geeignet	Einsatz innerhalb vorgegebener Grenzen gewährleistet
Impulsbelastungen	relativ unempfindlich gegenüber Impulsbelastungen (begründet durch hohes Ausheilvermögen des flüssigen Elektrolyten)	relativ empfindlich gegenüber Impulsbelastungen, sofern $R_{ges} = 3 \Omega V^{-1}$ unterschritten wird
R_{ges}	geeignet für Schalt- kreiswiderstände gegen 0Ω gehend	bei $R_{ges} < 3 \Omega$ je Volt anliegender Spannung verringerte Zuverlässigkeit, Ausfallkriterium: I_R -Erhöhung, Kurz- schluß

Kenngröße	Al-NV-Elkos		Ta-NV-Elkos	
Temperaturbereich ΔT_{grenz}	alle Kennwerte weisen eine stärkere Temperaturabhängigkeit innerhalb des Anwendungstemperaturbereiches auf (durch flüssigen Elektrolyten verursacht)		alle Kennwerte weisen eine geringere Temperaturabhängigkeit auf (durch "festen Elektrolyten" bedingt)	
Temperaturabhängigkeit:	-40 °C	+85 °C	-55 °C	+85 °C
ΔC (typenabhängig)	Abfall auf 80 % bis 40 %	Anstieg auf max. 105 bis 120 %	-5 % bis -10 % Abfall	+5 % bis +10 % Anstieg
$\Delta \tan \delta$ (typenabhängig)	Faktor 15 bis 20 (-40 °C) bis 0,5 (+85 °C) ausgehend von $\tan \delta(25 \text{ °C})$		Faktor 1,1 bis 2,0 innerhalb T_{grenz}	
ΔZ	stark T-abhängig, Faktor 10 bis 100 innerhalb T_{grenz}		nahezu konstant (max. Faktor 2 innerhalb T_{grenz})	
ΔI_R	näherungsweise I_R -Verdopplung je 10 grd innerhalb ΔT_{grenz}		näherungsweise I_R -Verdopplung je 20 grd innerhalb ΔT_{grenz}	
Prüfzuverlässigkeit $\lambda_{p0,6} [h^{-1}]$	$1 \cdot 10^{-5}$ (garantiert)		$1 \cdot 10^{-5}$ (garantiert)	
Betriebszuverlässigkeit $\lambda_B [h^{-1}]$	$1 \cdot 10^{-6}$		$1 \cdot 10^{-7}$	

<u>Kenngröße</u>	<u>Al-NV-Elkos</u>	<u>Ta-NV-Elkos</u>
mechanische Belastungen	vergleichbar mit Ta-NV-Elkos	vergleichbar mit Al-NV-Elkos
klimatische Belastungen	vergleichbar mit Ta-NV-Elkos (plastumhüllte Ausführungen)	- vergleichbar mit Al-NV-Elkos; hermetisch dicht - Ausführung nach TGL 200-8519 besonders klimafest
Abmessungen	vergleichbar (speziell Subminiatursortiment) mit Ta-NV-Elkos	vergleichbar mit Al-NV-Elkos
Preisrelation	$\frac{\text{Ta-NV-Elkos}}{\text{Al-NV-Elkos}} = \frac{20 \dots 60}{1}$ (bei vergleichbaren Ausführungen und Typen)	
Lagerfähigkeit	begrenzte Lagerfähigkeit (ohne Nachformierung)	nahezu unbegrenzte Lagerfähigkeit

Die angeführten Vergleiche sollen dem Anwender eine objektive Auswahl gestatten, ob ein Al- oder Ta-NV-Elko eingesetzt wird.

Dabei wurden die Aussagen herangezogen, die für den Anwender von Interesse sein dürften. Auf physikalische Zusammenhänge wurde bewußt weniger eingegangen, nur soweit, wie es für das Grundverständnis bzw. zu weiteren Schlüssen für Anwendungsfälle erforderlich ist. Weitergehende Angaben dazu sind /2/ bis /4/ zu entnehmen.

Die Entscheidung ist zwischen technischem Erfordernis und ökonomischem Aufwand verantwortungsbewußt zu finden.

4. Literaturverzeichnis

- /1/ Electronic News, August 1980, S. 4
- /2/ Langer, H.-D.,
Schuricht, K.: radio fernsehen elektronik 29 (1980) 447
- /3/ Langer, H.-D.: Festkörperelektrolytkondensatoren,
Akademie-Verlag, Berlin (1982)
- /4/ Döring, H.-U.,
Langer, H.-D.: Veröffentlichung eingereicht bei
Zeitschrift Nachrichtentechnik-Elektronik
- /5/ Katalog, Fa. Sprague 1980/81
- /6/ Vortrag, Fa. Sprague, Leipziger Früh-
jahrsmesse 1980
- /7/ Werkstandard,
VEB Kondensatorenwerk Freiberg
KWF-S-007757